

DER WELT-ATOMMÜLL-BERICHT

ABFALLMENGEN UND KOSTEN

DR. BEN WEALER

Online, 03. Februar, 2021



ABFALLMENGEN ENTLANG DER VERSORGUNGSKETTE

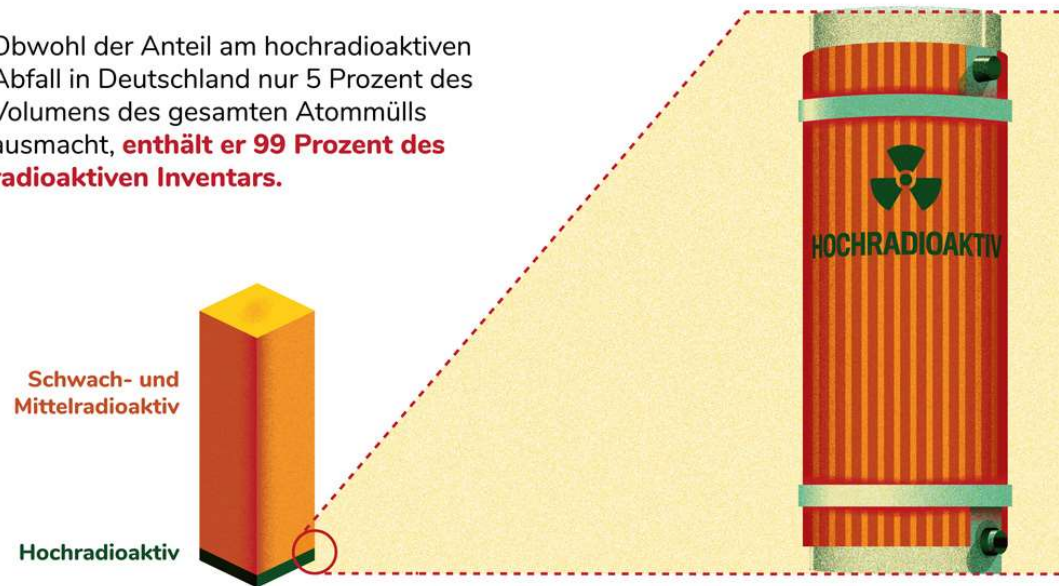


- **Betriebsabfälle:**
 - vorwiegend schwach- und mittelradioaktiven Abfälle bzw. Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.
- **Abgebrannte Brennelemente:**
 - abhängig von der nationalen Regulierung ob abgebrannte Brennelemente als Abfall deklariert sind.
 - hochradioaktive Abfälle bzw. wärmeentwickelnde Abfälle
- **Abfälle aus dem Rückbau:**
 - vorwiegend schwach- und mittelradioaktiven Abfälle bzw. Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.
- **Abfälle aus dem “front-end”**
 - Uran-Bergbau sowie nötigen Prozesse bis zur Brennelementeherstellung.

RADIOAKTIVITÄT

Radioaktivität

Obwohl der Anteil am hochradioaktiven Abfall in Deutschland nur 5 Prozent des Volumens des gesamten Atommülls ausmacht, **enthält er 99 Prozent des radioaktiven Inventars.**



BASIS FOR THE INVENTORIES: THE JOINT CONVENTION REPORTS



- For this section, the data for the different European national inventories is drawn from **the official documents published by the respective governments, regulatory agencies, or other responsible governmental bodies** under the Joint Convention.
- The 2001 **Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management** (hereafter Joint Convention) is the first legal instrument to address the issue of spent nuclear fuel and radioactive waste management.
- The agreement with the **International Atomic Energy Agency (IAEA)** includes the requirement to list the facilities for spent nuclear fuel (SNF) and radioactive waste management and to list the inventories of SNF and radioactive waste (Article 32).
- These national reports should be submitted for every review meeting, which has to take place no later than three years after the previous meeting (Article 30). The national reports from the sixth review meeting (in 2018) are the primary source for the waste quantities.

OPERATIONAL WASTE – LOW- AND INTERMEDIATE LEVEL WASTE (LILW)



- Varying **national inventory approaches** make it difficult to compare the **volume** of legacy waste in the countries, as operational waste is stored:
 - in **different physical states** (for instance liquid, solid, and pre-compressed),
 - or the waste has already been **preconditioned, conditioned, compacted,**
 - or **disposed** of.
 - Sometimes, the waste is clustered into **different categories**, such as LLW and ILW or LILW, or is still in other different forms.
- We exclude Russia and Slovakia as:
 - **Russia** gives only an estimate of low- and intermediate radioactive waste (of around 556 million m³) with little information given on the origin (large amounts are from mining), waste classification, and state.
 - The most striking case is **Slovakia**, where information about nuclear waste forms such as “in pieces”, “drums” or “pallets” does not allow any classification of volumes.

Land	LILW in Zwischenlager (m³)	LILW in Endlagern (m³)	Gesamtmenge an LILW (m³)
BELGIEN	23.200	Keine Anlage in Betrieb.	23.200
BULGARIEN	11.900	Keine Anlage in Betrieb.	11.900
DEUTSCHLAND	45.200	84.100	129.300
FINNLAND	1.970	7.600	9.600
FRANKREICH	180.000	853.000	1.033.000
GROßBRITANNIEN	130.000	942.000	1.072.000
LITAUEN	44.000	Keine Anlage in Betrieb.	44.000
NIEDERLANDE	11.100	Keine Anlage in Betrieb.	11.100
RUMÄNIEN	1.000	Keine Anlage in Betrieb.	1.000
SCHWEDEN	13.800	39.000	52.800
SCHWEIZ	8.400	Keine Anlage in Betrieb.	8.400
SLOWENIEN	3.400	Keine Anlage in Betrieb.	3.400
SPANIEN	6.700	32.200	38.900
TSCHECHISCHE REP.	1.750	11.500	13.250
UKRAINE*	59.400	Keine Anlage in Betrieb.	59.400
UNGARN	10.600	876	11.500
INSGESAMT	552.400	1.970.000	2.522.000

Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage der Berichte gemäß des Gemeinsamen Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle und ONDRAF/NIRAS (2017).

Anmerkung: *Ohne (zwischengelagerte und endgelagerte) Abfälle aus der Tschernobyl-Zone.

SCHWACH- UND MITTEL-RADIOAKTIVE ABFÄLLE IN EUROPA*



- Mehr als **550,000 m³** in **Zwischenlagern**.
- ~ **2,000,000 m³** wurden **entsorgt** (1.8 Millionen m³ in UK und Frankreich).
- **Allerdings bedeutet dies nicht, dass diese Abfälle erfolgreich für die kommenden Jahrhunderte eliminiert worden sind.** Asse II in DE: 220,000 m³, eine Mischung aus radioaktiven Abfällen und Salz.
- Deshalb sollte man den Begriff Endlagerung mit **Vorsicht** verwenden.

*Gerundete Zahlen, Stand 31.12.2016, ohne Russland und Slowakei

Tabelle 3: Berichtete Bestände an abgebrannten Brennelementen (SNF) und Abfallmenge in Nasslagern in Europa – Stand 31. Dezember 2016

Land	SNF Inventar [Tonnen]	Brennelemente*	Nasslager [Tonnen]	SNF in Nasslagern [%]
BELGIEN	501**	4173	237	47 %
BULGARIEN	876	4.383	788	90 %
DEUTSCHLAND	8.485	N.Z.	3.609	43 %
FINNLAND	2.095	13.887	2.095	100 %
FRANKREICH	13.990	N.Z.	13.990	100 %
GROßBRITANNIEN	7.700	N.Z.	7.700	100 %
LITAUEN	2.210	19.731	1.417	64 %
NIEDERLANDE	80***	266	80	100 %
RUMÄNIEN	2.867	151.686	1.297	45 %
SCHWEDEN	6.758	34.204	6.758	100 %
SCHWEIZ	1.377	6.474	831	60 %
SLOWENIEN	350	884	350	100 %
SPANIEN	4.975	15.082	4.400	91 %
TSCHECHISCHE REP.	1.828	11.619	654	36 %
UKRAINE	4.651****	27.325	4.081	94 %
UNGARN	1.261	10.507	216	17 %
INSGESAMT	ca. 64.226		ca. 49.000	81 %

Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage der Berichte gemäß des Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle.

Anmerkungen: * Die Berechnungen der SNF-Bestände variieren im Hinblick auf die Annahmen des Gewichts pro Brennelement: Belgien und Ungarn unterstellen 120 kg pro Brennelement; Litauen 112 kg, Slowakei 119 kg, und Rumänien 18,1 kg (Rumänien führt Brennelemente in Einheiten von CANDU-Gebinden auf).

** Angaben aus 2011. Die aktuellen Daten erlauben keine genaue Aufschlüsselung in Nass- und Trockenlagerung (Belgien gibt aktuell an, dass 1.102 t in den Abklingbecken (Nasslager) der Reaktoren Doel und Tihange lagern, weitere 2.326 t sind in Zwischenlagern an den Reaktorstandorten gelagert, wobei das Zwischenlager Tihange ein Nasslager und Doel ein Trockenlager ist).

*** Angaben aus 2010 (die Niederlande haben keine neueren Daten veröffentlicht).

**** Angaben aus 2008 (die Ukraine hat auch neuere Daten (Stand Juli 2017) veröffentlicht, diese waren den Autor*innen während des Verfassens nicht bekannt).

ABGEBRANNT BRENNLEMENTE (SNF) IN EUROPA



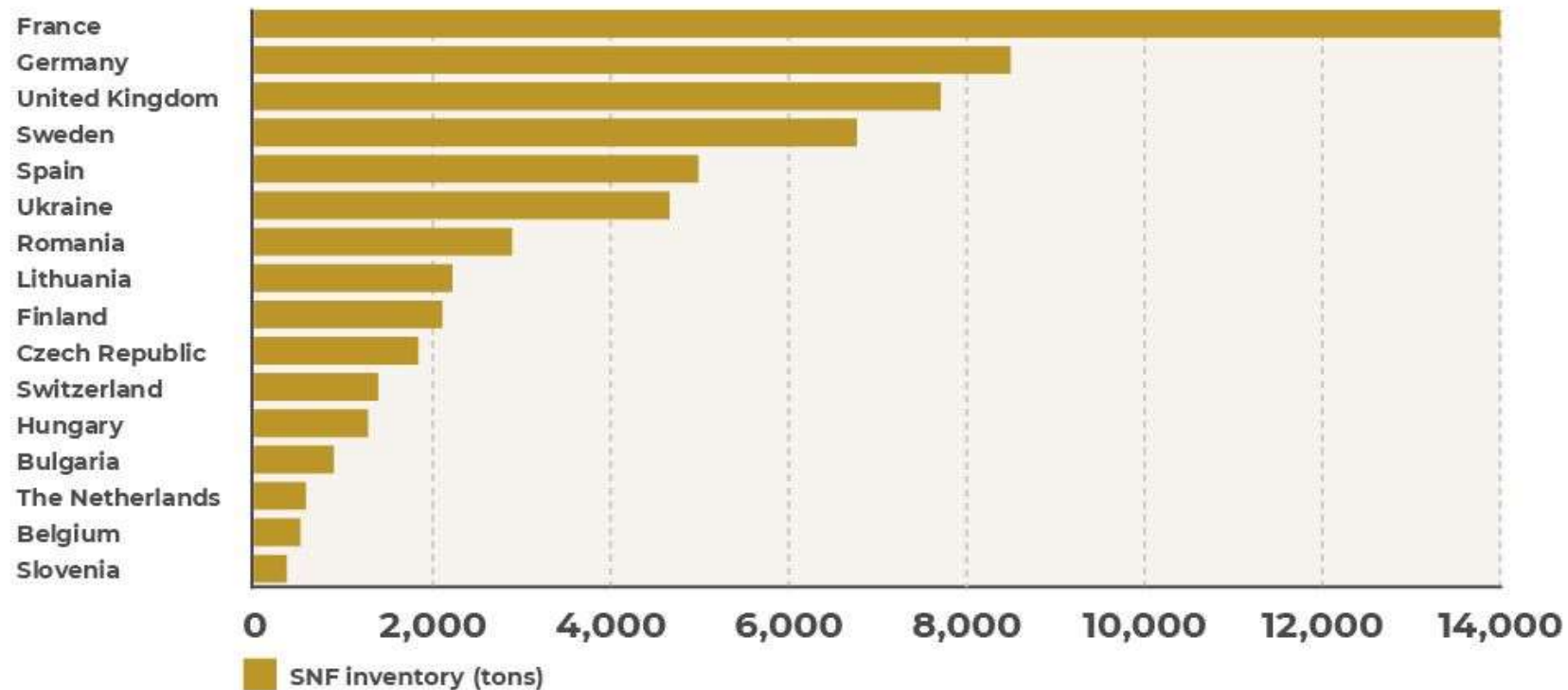
- Weltweit ist noch **kein Endlager in Betrieb**.
- In Europa mehr als **60,500 Tonnen** in Zwischenlagern.
- Mehr als die Hälfte in nur 3 Länder: **Frankreich** (25%), **Deutschland** (15%) und **U.K.** (14%).
- SNF werden im Allgemeinen in Abklingbecken oder Zwischenlagern (trocken oder nass) gelagert. Rund 49.000 Tonnen oder 81 % des SNF werden nass gelagert.

Stand 31.12.2016, ohne Russland und Slowakei

SPENT NUCLEAR FUEL IN INTERIM STORAGE IN EUROPE



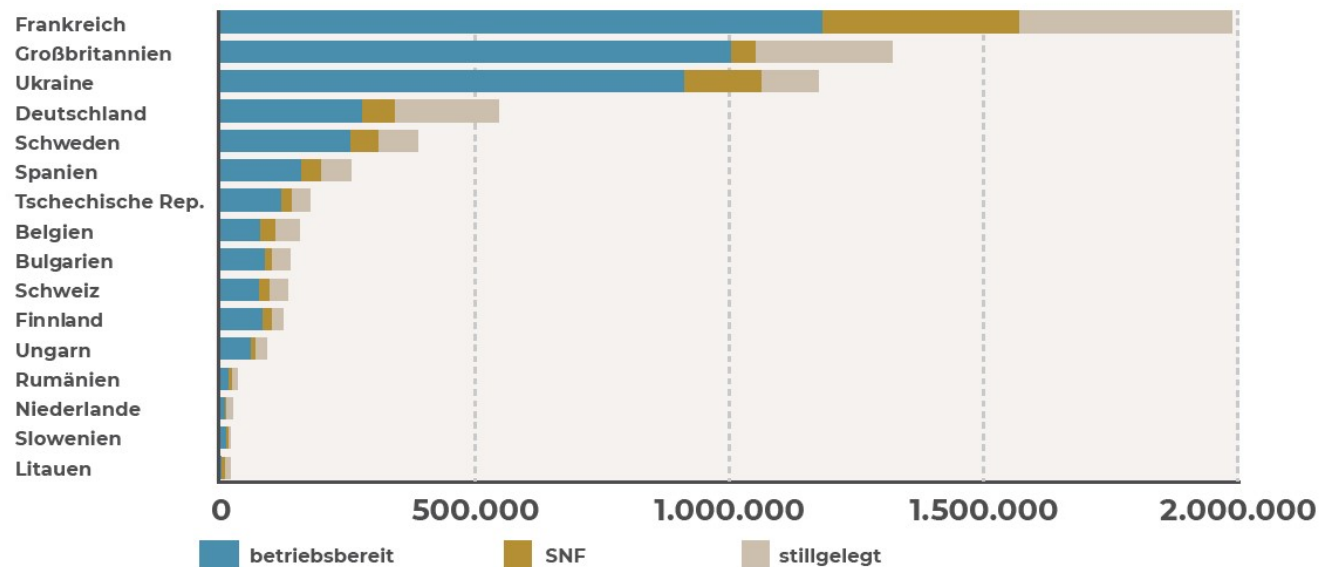
FIGURE 3: Spent nuclear fuel in interim storage in Europe (excluding Russia, and Slovakia) in tons as of December 31, 2016



Source: Own depiction based on reports published under Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management.

GESCHÄTZTE MENGEN AN ABFÄLLEN AUS DEN EUROPÄISCHEN REAKTOREN

ABBILDUNG 2: Geschätzte Mengen an radioaktiven Abfällen aus dem Betrieb und der Stilllegung der europäischen Reaktoren (im Betrieb und abgeschaltet), und aus dem Management von abgebrannten Brennelementen in m³ – Stand 31. Dezember 2018



Quelle: Eigene Zusammenstellung und Schätzung auf der Grundlage der Annahmen der Erzeugungsrate: IAEA (2007), US DOE (1997).

GESCHÄTZTE MENGEN AN ABFÄLLEN AUS DEN EUROPÄISCHEN REAKTOREN



Abfallmengen

Mit dem Betrieb europäischer Atomkraftwerke werden voraussichtlich **6,6 Millionen Kubikmeter** radioaktiver Abfälle verursacht.

Stapelte man diesen Atommüll auf der Fläche vom Hamburger Hauptbahnhof, **wäre der Abfallberg 240m hoch.**

Dies entspricht etwa der Höhe vom Fernsehturm, der 270m hoch ist.

TABLE 1: Decommissioned reactors worldwide as of May 31, 2018

Country	Reactor	Capacity in MW	Decommissioning End in	Operational Years
GERMANY	5	1,017 (total)		
	Niederaichbach	100	1995	1
	HDR Großwelzheim	25	1998	2
	VAK Kahl	15	2010	24
	Würgassen	640	2014	23
	Gundremmingen-A	237	2016	11
JAPAN	1	12 (total)		
	JPDR	12	2002	13
UNITED STATES OF AMERICA	13	4,922 (total)		
	Elk River	22	1974	5
	Shippingport	60	1989	25
	Pathfinder	59	1993	1
	Shoreham	809	1995	0
	Fort St. Vrain	330	1997	13
	Maine Yankee	860	2005	24
	Saxton	3	2005	5
	Trojan	1,095	2005	17
	Yankee NPS	167	2006	31
	Big Rock Point	67	2006	35
	Haddam Neck	560	2007	29
	Rancho Seco-1	873	2009	15
	CVTR	17	2009	4
TOTAL		5,951		

Source: Own depiction based on Schneider et al. (2018).

DECOMMISSIONING



Large quantities of LILW will arise after the reactors are shut down and subsequently decommissioned.

As of 2019, only **19 nuclear power plants** have been decommissioned worldwide, of which only five were in Europe.

Worldwide **not one large-scale reactor** with 1 GW of capacity and 40 years of operation has been **decommissioned**.

Although decommissioning works are ongoing in Europe, **reports of quantities of decommissioning waste are hard to find**.

EUROPE'S PILES OF NUCLEAR WASTE: SUMMARY



- European countries have produced **several million cubic meters** of nuclear waste (not even including uranium mining and processing wastes).
- **No adequate disposal solutions:** only half of the observed countries have disposal facilities for LILW and not one (worldwide) for HLW.
- **Long-term:** Europe's nuclear fleet is estimated to generate over its lifetime around **6.6 million m³** of nuclear waste. If stacked in one place, this would fill up a football field 919 meters high: three times higher than the Eiffel Tower or 90 meters higher than the tallest building in the world, the Burj Khalifa in Dubai.
- **All this waste needs disposal.**
- The ongoing generation of nuclear waste and the upcoming decommissioning of nuclear facilities poses **an increasing challenge**, because storage facilities in Europe are slowly running out of capacity.

THE WORLD NUCLEAR WASTE REPORT 2019

COSTS AND FINANCING

BY BEN WEALER

Hungary (online), November 26th, 2020



GRUNDSÄTZLICHE HAFTUNG FÜR STILLLEGUNG UND MANAGEMENT RADIOAKTIVER ABFÄLLE



- **Im Allgemeinen** sind die Eigentümer oder Genehmigungsinhaber von Atomkraftwerken verantwortlich für die Konditionierung, Zwischenlagerung und letztendliche Endlagerung der Abfälle, die während des Betriebs und der Stilllegung eines Reaktors anfallen, und darüber hinaus für das langfristige Management von abgebrannten Brennelementen (**Verursacherprinzip**).
- **Aber** das Verursacherprinzip findet in den meisten Fällen nur in Bezug auf die Stilllegung und den Rückbau der Reaktoren Anwendung. Für die langfristige Lagerung von radioaktiven Abfällen hat sich eine Vielfalt von Organisationsmodellen entwickelt, bei denen die nationalen Behörden – nicht der Betreiber der Atomanlage – mehr oder weniger die technische und finanzielle Haftung für die sehr langfristigen Probleme des Managements radioaktiver Abfälle übernehmen (wie z.B. in den USA, in Deutschland und Frankreich).

ÜBERBLICK UND ART DER FINANZIERUNG



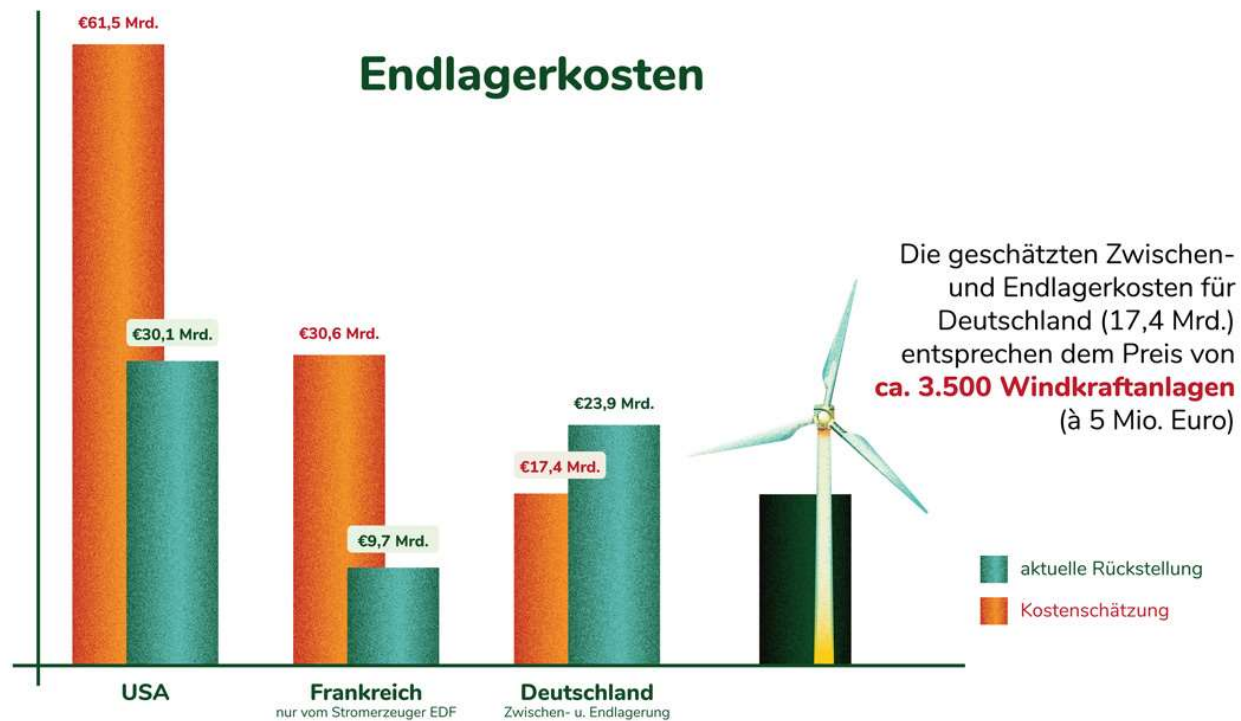
- **Externer getrennter Fonds:** Die Betreiber zahlen in einen externen Fonds ein. In diesem Fall übernehmen private oder staatliche unabhängige Institutionen das Management der Fonds.
- **Interner, nicht-abgegrenzter Fonds:** Der Betreiber zahlt in einen selbstverwalteten Fonds ein und übernimmt das Management der Finanzmittel, die innerhalb der eigenen Vermögensgegenstände verbleiben.
- **Interner getrennter Fonds:** Die Vermögenswerte müssen von den anderen Bereichen der Geschäftstätigkeit getrennt oder speziell für die Zwecke der Stilllegung und des Managements radioaktiver Abfälle zweckgebunden sein.
- **Finanzierung aus öffentlichen Mitteln:** Die staatlichen Behörden übernehmen die finanzielle Verantwortung, einschließlich der Kapitalbildung (z.B. über Steuern und Abgaben).

AKKUMULATION DER FINANZIELLEN MITTEL



- Die Kapitalbildung der Fonds kann entweder erreicht werden durch eine Gebühr, eine Abgabe auf den Stromverkauf, „intern“ durch die Betreiber, die die Mittel aus den Einkünften, die sie aus dem Stromverkauf erhalten haben, zurücklegen oder durch die Investitionen, die von den Fonds vorgenommen werden.
- Da die meisten Kosten erst in der Zukunft anfallen, besteht ein wesentlicher Aspekt darin, ob die Fonds oder zukünftigen Rückstellungen auf **diskontierten oder nicht-diskontierten** Kosten beruhen :
 - Falls die Kosten nicht diskontiert werden, müssen die Betreiber den vollständigen Betrag der geschätzten Kosten zurücklegen.
 - Wenn die Kosten diskontiert sind, wird erwartet, dass die Finanzmittel über die Zeit hinweg anwachsen.

ENDLAGERKOSTEN IM VERGLEICH



COST EXPERIENCES AND ESTIMATIONS



- In order to accumulate funds, costs need to be estimated. This is a critical aspect of funding, especially for unknown projects like a deep geological facility for high-level waste.
- Different cost estimation methods are conceivable (e.g. order-of-magnitude estimate, budgetary estimate, definitive estimate).
- In reality, most cost estimates are budgetary estimates based on studies and estimates from the 1970s and 1980s, which are then extrapolated.
- In most cases, the waste management organization is responsible for developing cost estimates for the long-term management of radioactive waste. This organization can be state-owned (such as in the UK, Germany and Spain) or in some cases utility-owned, as in Sweden and Switzerland.
- In most cases cost estimates are not publically available (e.g. in Germany, the cost of both decommissioning and long-term waste management is based on expert opinions, produced by the private companies for the utilities and not public).

ABFALLMENGEN UND KOSTEN: ZUSAMMENFASSUNG



- Die europäischen Länder haben mehrere Millionen Kubikmeter Atommüll produziert (Abfälle aus dem „front-end“ nicht mitgerechnet).
- Keine adäquaten Entsorgungslösungen: Nur die Hälfte der beobachteten Länder verfügt über Endlager für LILW und kein einziges (weltweit) für HLW.
- In den meisten Fällen werden die Kostenschätzungen von den Betreibern, der Industrie oder staatlichen Behörden erstellt und sind für unabhängige Energieexpert*innen nicht öffentlich zugänglich.
- Alle Kostenschätzungen haben zugrundeliegende Unsicherheiten aufgrund von langen Zeiträumen, Kostensteigerungen und geschätzten Diskontierungsraten (Fondsakkumulation).

ANNEX

REPROCESSING



TABLE 4: High-level and intermediate-level waste from reprocessing in storage as of December 31, 2016

Country	Active Reprocessing	HLW [m ³]	ILW [m ³]
BELGIUM	No	285	3,132
BULGARIA	No	n.a.	n.a.
FRANCE	Yes	3,740	42,800
GERMANY	No	577	n.a.
HUNGARY	No	102	n.a.
THE NETHERLANDS	Yes*	91	n.a.
RUSSIA	Yes	n.a.	n.a.
SPAIN	No	n.a.**	n.a.
SWITZERLAND	No	114**	n.a.
UNITED KINGDOM	No	1,960	n.a.

Source: Own depiction based on reports under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management.

Notes: *in France. ** additional waste stored in France.

- Most countries had to send their SNF abroad for reprocessing to either France, the UK, or Russia (only a few central European countries continue to do so).
- Vitrified waste (mostly HLW) is sent back to the country of origin.
- In 2018, France has the last commercial reprocessing plant in Western Europe.
- More than half of the HLW comes from France. The only two countries specifying the amounts of ILW are France and Belgium.

FUNDING SYSTEMS FOR DECOMMISSIONING



TABLE 6: Funding systems for decommissioning in the Czech Republic, France, and Germany as of December 2018

	CZECH REPUBLIC	FRANCE*	GERMANY
FUNDING SYSTEM	internal segregated and restricted fund	internal segregated and restricted fund	internal non-segregated and unrestricted
CONTROLLED BY	operators	operator	operators
ACCUMULATED BY	fee on generated electricity	levy on electricity price	provisions by operators
COST ESTIMATES	Temelín: US\$ 847 million Dukovany: US\$ 1 billion US\$410/kW to US\$530/kW	US\$ 35.7 billion for entire fleet US\$450/kW for operational; US\$1,350/kW for legacy	US\$ 22.2 billion for 23 commercial reactors** US\$940/kW
SET ASIDE FUNDS, (IN % OF COST ESTIMATE)	Temelín: US\$ 129 million (15%) Dukovany: US\$ 276 million (28%)	US\$ 20.8 billion (58%)	US\$ 26.7 billion*** (n.a.)

Source: Own depiction.

Notes: * only applies to EDF

** excluding costs for casks, transport, and conditioning

*** including provisions for casks, transport, and conditioning (also of operational waste); in 2017

FUNDING SYSTEMS FOR DISPOSAL



TABLE 7: Funding systems for disposal in France, Germany, and the US as of December 2018

	FRANCE*	GERMANY	US
FINANCING SCHEME	internal segregated and restricted fund, then moved to waste management agency (ANDRA) at construction start	external segregated fund	external
ACCUMULATED BY	levy on electricity price	investment of the funds	previously levy on electricity price but no longer collected
TOTAL COST ESTIMATES	US\$ 34.9 billion	US\$ 19.8 billion**	US\$ 96 billion
SET ASIDE FUNDS, (IN % OF COST ESTIMATE)	US\$ 11 billion (32%)	US\$ 27.2 billion (>100%)**	US\$ 34.3 billion (36%)

Source: Own depiction

Notes: *only applies to EDF ** including interim storage, LILW and HLW disposal.